

Qualidade física do solo sob sistema silvipastoril com *Peltophorum dubium* e *Panicum maximum* cv. Aruana

David Marlon Dalposso¹, Eleandro José Brun¹, Felipe Schroeder¹, Cristian Medrado Canônico¹, Vicente de Paulo Macedo¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Estrada p/ Boa Esperança, km 4, CP. 157, CEP 85660-000, Dois Vizinhos, PR

*Autor correspondente:

eleandrobrun.utfpr@gmail.com

Termos para indexação:

Sistemas de cultivo
Espécie florestal nativa
Uso múltiplo da terra

Index terms:

Cropping systems
Forest native species
Multiple land use

Histórico do artigo:

Recebido em 05/05/2018
Aprovado em 17/12/2019
Publicado em 25/05/2020

Resumo - Com o aumento da demanda de produção agropecuária e florestal no Brasil e no mundo, tornou-se necessária a maximização da produção numa mesma área, de forma sustentável, onde o sistema silvipastoril torna-se uma forma de integração de desempenho crescente. Objetivou-se avaliar os atributos físicos de dois sistemas de uso do solo: pastagem pura com *Panicum maximum* cv. Aruana e um sistema silvipastoril com *Peltophorum dubium* em linhas e pastagem nas entrelinhas. Foram abertas quatro minitrincheiras (repetições) em cada área (linha, entrelinha e pastagem pura de *P. maximum* cv. Aruana), subdivididas em quatro profundidades (00-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), compondo 48 amostras de solo, coletadas com anel volumétrico. As amostras foram analisadas quanto à densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. A macroporosidade e a microporosidade variam com a profundidade, inversa e diretamente, respectivamente. A maior densidade do solo se deu na pastagem pura, entretanto sem atingir valores impeditivos ao crescimento radicular. Embora a porosidade total do solo não tenha apresentado diferenças significativas, essa sofre interferência do manejo aplicado sobre a área. O efeito do uso de leguminosa arbórea no sistema silvipastoril já é perceptível, apesar de ainda incipiente.

Physical soil quality in silvopastoral system with *Peltophorum dubium* and *Panicum maximum* cv. Aruana



Abstract: With the increasing demand for agricultural, livestock and forestry production in Brazil and in the World, it has become necessary to maximize production in the same area, in a sustainable way, where the silvopastoral system becomes a form of integration of increasing performance. The objective of this work was to evaluate the physical attributes of two land use systems: pure pasture with *Panicum maximum* cv. Aruana and a silvopastoral system with *Peltophorum dubium* in the lines and Aruana grass between the lines. Four mini trenches (repetitions) were opened in each area (line, between lines and pure pasture of Aruana grass), subdivided into 4 depths (00-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm), composing 48 soil samples, collected with volumetric ring. The samples were analyzed for density, macroporosity, microporosity and total porosity. Macroporosity and microporosity varied with depth, inversely and directly, respectively. The highest soil density occurred in pure pasture, however, without reaching values that limit root growth. Although the total porosity of the soil did not present statistically significant differences, this one undergoes interference of the applied management over the area. The effect of the use of leguminous wood species in silvopastoral system may already be noticed, although still incipient.

Introdução

O sistema silvipastoril representa uma modalidade de uso da terra onde atividades silviculturais e pecuárias são combinadas para aumentar a eficiência produtiva e sustentável dos seus componentes (Porfirio-da-Silva & Moraes, 2010). As características físicas do solo para a agricultura são de extrema relevância, principalmente quando se trata de sua qualidade dentro de um enfoque de solo com uma estrutura ecossistêmica. Nesse enfoque, permeiam componentes e funções químicas e microbiológicas em um complexo sistema de retroalimentação (Stefanoski et al., 2013).

Na região Sudoeste do Paraná, conta-se com inúmeras áreas de pastagens para uso na atividade de produção leiteira, que são manejadas objetivando incrementar a renda familiar. Algumas dessas áreas integram formas de manejo que visam ao aumento da produção de proteína animal bem como a madeireira.

Em sistemas silvipastoris, uma das maiores preocupações, além do aumento e da diversificação da produção (leite/carne, madeira, etc.), se refere à manutenção da qualidade do solo, sob aspectos químicos, físicos e microbiológicos, almejando a sustentabilidade do sistema em longo prazo. O uso de leguminosas arbóreas visa também o aporte de nitrogênio ao solo, favorecendo o crescimento de gramíneas associadas (Nicodemo et al., 2009) e qualidade do solo, também sob aspectos físicos do mesmo, influenciados pelo crescimento radicular e deposição de água do escorrimento do tronco e material orgânico das árvores (serapilheira) (Dias et al., 2007).

O sistema silvipastoril integra a produção silvícola e de pastagens, contemplando a produção florestal e a pecuária (Melotto et al., 2009). Nesse sistema, a pastagem e o componente florestal podem ser implantados de maneira simultânea, desde que haja adaptabilidade da pastagem ou forrageira com o ambiente sombreado (Varella et al., 2009). A espécie florestal também pode ser introduzida em pastagens previamente estabelecidas, embora na prática possa ocorrer o contrário, quando há necessidade de utilização dessa área para a produção, a exemplo do que ocorrem nos chamados “faxinais”, sendo esses típicos da região Centro-sul do Estado do Paraná (Sahr, 2008; Gomes, 2012; Hauresko, 2012).

Peltophorum dubium (Spreng.) Taub. é uma espécie madeireira, pertencente ao grupo ecológico das secundárias iniciais, ocorrendo de forma natural no

nordeste da Argentina, nas províncias de Misiones, Formosa, Corrientes e Chaco (Arboles de Misiones, 1992), no leste do Paraguai e no norte do Uruguai (Lopez et al., 1987). No Brasil, ocorre naturalmente na Floresta Latifoliada Semidecídua da Bacia do Paraná e na Floresta Estacional Decidual da Bacia do Rio Uruguai, podendo ser encontrada também nos Estados da Bahia, Rio de Janeiro, Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul (Siminski et al., 2011). A espécie apresenta dormência tegumentar, necessitando de processo de superação de dormência para maior índice de germinação (Martins & Nakagawa, 2008; Brasil, 2009).

Popularmente conhecida como canafistula, é uma espécie florestal brasileira de alto valor comercial, altamente promissora no mercado madeireiro pelo fato de apresentar valor econômico comprovado, dada a qualidade da madeira, moderadamente pesada, dura e apresentando longa durabilidade (Bertolini et al., 2015). Apesar de ser considerada uma leguminosa arbórea não nodulífera, Dias et al. (2007) relataram que a transferência de nitrogênio da canafistula para a pastagem de capim survenola, via mecanismo de fixação biológica, ocorreu em quantitativos superiores a outras espécies arbóreas, chegando a 27,7% na área de projeção da copa.

As áreas ocupadas com sistemas silvipastoris têm se ampliado no estado do Paraná, principalmente em áreas de bovinocultura leiteira e ovinocultura. Apesar da predominância do uso de *Eucalyptus* spp., a busca por espécies nativas alternativas como as leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio se tornam promissoras, por terem maior potencial de beneficiar a pastagem, principalmente de gramíneas, como o capim Aruana. Além disso, um fator determinante e ainda muito pouco estudado nesses sistemas é a qualidade física do solo, através de indicadores como densidade, macro e micro porosidade e porosidade total.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física do solo em dois sistemas de uso: pastagem pura com *Panicum maximum* Jacq. cv. Aruana e um sistema silvipastoril com *Peltophorum dubium*, nas linhas e a gramínea Aruana nas entrelinhas.

Material e métodos

O estudo foi realizado na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Sudoeste do Paraná. As áreas de coleta

das amostras de solo consistiram em um sistema de pastagem pura (PP) com *Panicum maximum* cv. Aruana e um sistema silvipastoril com quatro anos com *Peltophorum dubium*, sendo estas nas linhas (SSP-L) e a gramínea Aruana nas entrelinhas (SSP-EL).

De acordo com a classificação climática de Koppen (Alvares et al., 2013), o clima de Dois Vizinhos é do tipo Cfa, subtropical, sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais frio menor que 18 °C, média do mês mais quente maior que 22 °C e temperatura média anual de 19 °C. A precipitação média anual é de 2.050 mm. O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho distroférrico (Santos et al., 2013), o qual apresenta horizonte B nítico abaixo do horizonte A com argila de atividade baixa ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, estrutura em blocos subangulares ou angulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados. São, em geral, moderadamente ácidos a ácidos.

O experimento foi instalado em uma área 45 m x 45 m (2.025 m²), que contava com pastagem pura de *P. maximum* cv. Aruana implantada previamente. Para a otimização do uso da área, foram implantadas, de forma sistemática, quatro linhas duplas num intervalo de 10 m entre elas e espaçamento de 2,0 m (entre plantas) x 1,5 m (entre linhas) nas linhas duplas. Em cada conjunto de linhas duplas, o solo foi preparado com auxílio de um escarificador tratorizado de cinco hastes, até uma profundidade aproximada de 30 cm. Em cada linha dupla foram inseridas aproximadamente 44 plantas (22 plantas em cada linha simples), totalizando 176 mudas, de modo a atender os princípios estatísticos de suficiência amostral.

O plantio das mudas arbóreas foi realizado em junho/2014, com mudas produzidas pelo Horto Florestal da Usina Hidrelétrica Salto Caxias (COPEL), a partir de sementes coletadas em área de coleta de sementes nas regiões Sudoeste e Oeste do Paraná. Para o plantio, foram abertas covas com auxílio de enxadão nas linhas escarificadas, onde, no fundo de cada cova, previamente ao plantio, foi realizada a aplicação de 250 mL de solução de hidrogel (0,2%), visando melhorar a sobrevivência das mudas.

A área de pastagem pura de *P. maximum* cv. Aruana apresentava aproximadamente 2.048 m². Anteriormente à instalação da forrageira, até 2011, essa área era destinada a semiconfinamento bovino, não havendo cultura plantada. A partir de 2012, a mesma passou

a ser usada com ovinos e, desde então, é cultivada com sobressemeadura de aveia (*Avena sativa* L.) ou azevém (*Lolium multiflorum* L.) no inverno e de milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) ou sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) no verão. Foi realizada adubação de implantação do *P. maximum* cv. Aruana, conforme análise de solo e recomendação oficial para a forrageira. Foi realizada em 2014 uma aplicação, em cobertura, de fertilizante NPK, na formulação 00-25-20 e em dosagem de 300 kg ha⁻¹, não sendo realizado nenhum outro trato cultural ou adubação.

Após a implantação do componente arbóreo em 2014 no sistema silvipastoril, a área só voltou a ser pastejada em 2017, quando as árvores alcançaram altura suficiente para não serem danificadas pelos ovinos. As árvores apresentavam cerca de 5,0 m de altura total, e passaram por desrama até uma altura de 2,5 m. No período entre 2014 e 2016, a pastagem do sistema silvipastoril foi manejada somente com roçadas mecanizadas.

Na área de pastagem pura, a carga animal de pastejo foi determinada através da quantificação da disponibilidade mensal de forragem nos períodos de outono/inverno e primavera/verão, ambos com sobressemeadura. Essa foi estabelecida considerando o consumo médio de ovinos jovens, em período de crescimento, com taxa de lotação animal média de 650 kg peso vivo ha⁻¹ dia⁻¹ no outono/inverno e 950 kg peso vivo ha⁻¹ dia⁻¹ na primavera/verão.

A coleta de amostras foi realizada em setembro de 2017, com a abertura de quatro minitrincheiras (repetições) distribuídas de maneira equidistante (sistemática) em cada tratamento (área). Foi utilizado um motocoveador motorizado para abertura inicial das minitrincheiras e pá de corte e enxadas para o nivelamento das paredes das mesmas. Posteriormente, foram executadas as coletas das amostras de solo em amostragem única, antes de inserção dos animais. As coletas foram realizadas com uso de anéis volumétricos (2,4 cm de altura x 6,0 cm de diâmetro interno), nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40- 60 cm para cada área.

Os tratamentos consistiram em coletas realizadas em minitrincheiras abertas: 1) na entrelinha (SSP-EL) (no meio do intervalo entre uma linha dupla, 5 m de distância entre cada linha e, outra, a 5 m da primeira linha da espécie florestal); 2) no meio da linha dupla no sistema silvipastoril (SSP-L), distante 75 cm entre o tronco de duas árvores de cada linha simples; e

3) na pastagem pura (PP), em toda a área, de forma sistemática (bordadura de 5 m e após tendo amostragem equidistante), totalizando 48 amostras de solo.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, onde foram inicialmente limpas e padronizadas. Posteriormente, as amostras foram dispostas por 12 h sobre bancada, dentro de bandejas sobre uma lâmina d'água para saturação, com uso de tecido protetor e atilho, visando à proteção da amostra para sua não deformação e perda de solo. Após a saturação, as amostras foram pesadas em balança de precisão ($\pm 0,0003$ g) e levadas para a mesa de tensão com areia (Reinert & Reichert, 2006), expostas a uma diferença de pressão de 60 hPa, durante 48 h. Posteriormente, foram retirados os anéis de mesa de tensão e pesados um a um o anel mais o atilho e retirados o tecido protetor e atilhos, sendo estes também pesados, de forma a se obter, por diferença, somente o peso do anel com a amostra de solo (Claessen, 1997).

Os anéis, sem tecido e atilho, foram levados para secagem em estufa a 105 °C durante 48 h. Passado esse tempo, foram retirados e pesados os anéis com o solo seco e, em seguida, os anéis limpos.

As variáveis obtidas e analisadas foram: macroporosidade, obtida através do volume de poros totais, descontada a microporosidade. A microporosidade foi calculada a partir da massa da amostra após a retirada da mesa de tensão subtraída da massa da amostra seca, sendo o resultado dividido pelo volume do anel.

O volume de poros totais do solo (VPT) foi obtido a partir do volume de solo saturado subtraído do volume de solo seco, sendo o resultado dividido pelo volume do anel. A densidade do solo foi obtida através da relação entre massa de solo seco e o volume do anel. A umidade do solo foi calculada através do volume do solo seco, descontado do volume do solo saturado, este resultado dividido pelo volume do solo saturado multiplicado por 100.

Todo o conjunto de dados foi tabulado em planilha eletrônica e posteriormente processado no Software Assistat Versão 7.7 (Silva et al., 2016). O delineamento foi inteiramente casualizado com arranjo bifatorial, onde o fator 1 correspondeu aos tratamentos coletados na entrelinha de *P. dubium* (SSP-EL), na linha de *P. dubium* (SSP-L) e na pastagem pura (PP) composta por *P. maximum* cv. Aruana com quatro repetições. O

fator 2 correspondeu às quatro profundidades avaliadas (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm).

Foram aplicados os testes de normalidade dos dados (Lilliefors) e homogeneidade da variância (Bartlett), os quais demonstraram que os resultados seguiram distribuição normal e também que as variâncias dos mesmos eram homogêneas. Após constatar significância na análise de variação, foi aplicado o teste de Tukey de comparação de médias, com 1 e 5% de significância.

Resultados

Maiores valores de densidade do solo (Ds) foram constatados nos sistemas de manejo de pastagem pura (PP) e na entrelinha do sistema silvipastoril (SSP-EL) (Tabela 1), sendo superiores à Ds na linha do sistema silvipastoril (SSP-L). As médias de Ds nas profundidades avaliadas não diferiram estatisticamente entre si. Não foram observadas diferenças significativas para as variáveis macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) nos diferentes sistemas de manejo e profundidade testados. Em nível de caracterização do momento de coleta das amostras de solo, foi constatada maior umidade (Um) do solo na PP, mas também não foram detectadas diferenças significativas nas profundidades avaliadas.

Foi observada interação entre Ma e Mi com a profundidade do solo (Tabelas 2 e 3). A maior Ma foi obtida para a profundidade de 10-20 cm para o SSP-L, sendo que, à medida que aumentou a profundidade, reduziram-se os valores de Ma. De modo geral, as maiores Ma foram obtidas para SSP-L.

Tabela 2. Interação da variável macroporosidade do solo (Ma) nos diferentes manejos e profundidades avaliadas.

Table 2. Interaction of soil macroporosity (Ma) in the different soil managements and soil depths evaluated.

Interações da Ma (m ³ m ⁻³)	Profundidade (cm)			
	00-10	10-20	20-40	40-60
SSP-EL	0,14 abA	0,14 bA	0,16aA	0,14aA
SSP-L	0,20 aA	0,22 aA	0,17aAB	0,10aB
PP	0,12 bA	0,14 bA	0,17aA	0,14aA
CV (%)	24,89			

SSP-EL: entrelinha do sistema silvipastoril; SSP-L: linha do sistema silvipastoril; PP: pastagem pura. Médias não seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3. Interação da variável microporosidade do solo (Mi) nos diferentes manejos e profundidades avaliadas.**Table 3.** Interaction of soil microporosity (Mi) in the different soil managements and depths evaluated.

Interações Mi (m ³ m ⁻³)	Profundidade (cm)			
	00-10	10-20	20-40	40-60
SSP-EL	0,42 abA	0,43 abA	0,43 aA	0,45 abA
SSP-L	0,39 bB	0,40 bB	0,42 aB	0,47 aA
PP	0,46 aA	0,44 aA	0,42 aA	0,42 bA
CV (%)	5,78			

SSP-EL: entrelinha do sistema silvipastoril; SSP-L: linha do sistema silvipastoril; PP: pastagem pura. Médias não seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade de erro.

Não houve interação entre a densidade do solo e as profundidades avaliadas nos diferentes manejos do solo (Tabela 4). Também não houve interações significativas porosidade total (Tabela 5) em relação às diferentes profundidades avaliadas para as três áreas de estudo.

Tabela 4. Interação da densidade do solo (Ds) nos diferentes manejos e profundidades avaliadas.**Table 4.** Interaction of the density (Ds) in the different soil managements and depths evaluated.

Interações da Ds (Mg m ⁻³)	Profundidade (cm)			
	00-10	10-20	20-40	40-60
SSP-EL	1,18	1,18	1,15	1,21
SSP-L	1,13	1,05	1,12	1,14
PP	1,25	1,15	1,14	1,25
CV (%)	7,91			

SSP-EL: entrelinha do sistema silvipastoril; SSP-L: linha do sistema silvipastoril; PP: pastagem pura. Todas as interações foram não significativas ($p > 0,05$).

Tabela 5. Interação da porosidade total do solo (Pt) nos diferentes manejos e profundidades avaliadas.**Table 5.** Interaction of soil total porosity (Pt) in the different soil management and depths evaluated.

Interações da Pt (m ³ m ⁻³)	Profundidade (cm)			
	00-10	10-20	20-40	40-60
SSP-EL	0,57	0,57	0,60	0,59
SSP-L	0,60	0,62	0,59	0,58
PP	0,58	0,59	0,60	0,56
CV (%)	4,77			

SSP-EL: entrelinha do sistema silvipastoril; SSP-L: linha do sistema silvipastoril; PP: pastagem pura. Todas as interações foram não significativas ($p > 0,05$).

Discussão

Maiores densidades do solo (Ds) em pastagem pura (PP) também foram constatadas por Assis et al. (2015), avaliando um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e pastagem pura. O efeito do pisoteio animal na PP pode ter contribuído para a maior Ds nessa área de estudo.

A Ds do solo foi 1,6% maior na PP em relação à entrelinha do sistema silvipastoril (SSP-EL) e 8,3% à linha do sistema silvipastoril (SSP-L), porém os valores obtidos nos diferentes manejos não foram considerados impeditivos ao crescimento radicular, os quais se situam em torno de 1,80 Mg m⁻³ para solos argilosos, conforme Blainski et al. (2008). A menor Ds constatada no SSP-L se deve à escarificação na linha de plantio ter sido feita com trator, antecedendo a abertura das covas, quatro anos antes da coleta de amostras do presente estudo e também ao efeito do crescimento do sistema radicular das árvores.

Os resultados observados para porosidade do solo (Pt) estão em conformidade com os descritos por Van Ouwerkerk & Boone (1970), onde indicaram que sistemas com menor mobilização do solo reduzem a Pt (Carneiro et al., 2009), assim como constatado para os sistemas SSP-EL e PP.

A movimentação do solo no SSP-L em função do preparo mecanizado com escarificação na linha e pela abertura das covas no momento do plantio possivelmente proporcionaram maiores valores de macroporosidade (Ma) em comparação à SSP-EL e PP, assim como constatado em estudo realizado por Van Ouwerkerk & Boone (1970) em plantio direto, plantio convencional e preparo mínimo na região noroeste do Paraná.

As trocas gasosas são mais rápidas em solos com maior Ma, como no SSP-L, em comparação com sistemas SSP-EL e PP, com influência na disponibilidade de água às plantas e na aeração do solo, em períodos úmidos mais prolongados. Condições de aeração deficiente podem ter fundamental importância para a sanidade das raízes, em especial, para cultivares mais sensíveis a doenças (Tormena et al., 2004). Os efeitos do pisoteio nas três áreas estudadas, anteriores à implantação das árvores, podem ser a causa dos menores valores de Ma, efeito que é mais evidente até 20 cm de profundidade. Após o plantio das árvores, esses efeitos são lentamente alterados, aumentando os valores de Ma, em função do preparo do solo e do crescimento das raízes.

Os resultados para microporosidade (Mi) corroboram as constatações de Viana et al. (2011). Esses autores observaram que a Mi foi pouco influenciada pelo aumento da Ds, o que justifica a similaridade de Mi entre os sistemas. Lanzas et al. (2007) também obtiveram resultados semelhantes no Rio Grande do Sul, onde avaliaram três sistemas de manejo da pastagem de inverno (aveia-preta, *Avena strigosa* Schreber + azevém, *Lolium multiflorum* Lam.) e diferentes frequências de pastejo: (1) sem pastejo, (2) pastejo a cada 28 dias e (3) pastejo a cada 14 dias. Esses sistemas de manejo não apresentaram diferenças significativas de Mi nas três profundidades avaliadas (0-5, 5-10 e 10-20 cm).

Apesar disso, pelo efeito da compactação do pisoteio em períodos anteriores à instalação do experimento, parte da Ma pode ter se tornado Mi, o que é passível de percepção quando se observam valores maiores de Mi na PP até 20 cm de profundidade.

Quanto à biomassa de pastagem, foram observados 6,6 Mg ha⁻¹ na PP contra 2,8 Mg ha⁻¹ no SSP-L e 3,7 Mg ha⁻¹ no SSP-EL. Mesmo assim, em função da maior Ds e menor Ma, a incorporação deste material ao solo via decomposição de restos culturais poderá ser relativamente dificultada. A maior umidade (Um) observada na PP pode ser devido à quantidade de matéria seca produzida pela pastagem nesta área, aspecto constatado por Mezzalana (2018), em experimento concomitante.

Os maiores valores de Ma decorrentes do preparo do solo realizado em 2014 no SSP-L ainda eram observados em 2017, quando foram coletadas as amostras de solos para o presente trabalho. Esses resultados também podem estar ligados à persistência dos efeitos da mobilização do solo que resultaram em fraturamento dos agregados e o desenvolvimento de poros, somados aos potenciais efeitos do crescimento de raízes das árvores posteriormente ao plantio, aspecto evidenciado pelos maiores valores de Ma pelo menos até 20 cm de profundidade.

Os efeitos do revolvimento são mais importantes na superfície do solo (Miotti et al., 2013), visto pelo decréscimo da Ma em profundidade no SSP-L, aproximando-se aos valores de SSP-EL e PP. No SSP-L, a redução da Ma em profundidade foi de 100% entre as profundidades de 0-10 e 40-60 cm.

Um solo apresenta condições ideais de aeração para o desenvolvimento das plantas quando a Ma não é inferior a 10% (Stolf et al., 2011). Assim sendo, o valor

de Ma para os solos das áreas estudadas encontra-se dentro das condições ideais, o que sugere que estes solos apresentam condições satisfatórias de aeração e fluxo de água para o desenvolvimento de culturas.

Observou-se elevação da Mi à medida que a Ma apresentou tendência contrária, assim como constatado por Mazurana et al. (2011), estudando diferentes sistemas de preparo do solo no Estado do Rio Grande do Sul. Destaca-se o maior valor na última camada analisada (40-60 cm de profundidade) para o sistema SSP-L. De modo geral, as maiores Mi do solo para as profundidades avaliadas foram para o sistema PP, denotando assim um solo mais compactado, pela relação direta entre Ds e Mi observadas.

Tormena et al. (2002) estudaram diferentes sistemas de preparo do solo (plantio direto, preparo mínimo e preparo convencional), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm no Noroeste do Paraná. Esses autores encontraram interação entre os tratamentos e as camadas avaliadas para a variável Ds, corroborando com os resultados do presente estudo onde foi observada redução da Ds e aumento da Ma desde a implantação do sistema silvipastoril (Tabela 1).

A manutenção da porosidade do solo (Pt) nos sistemas e a proximidade de valores de Pt entre estes ocorreu, provavelmente, por não ter sido realizado revolvimento contínuo do solo, o que pode explicar a redução de Ds na camada superficial (0-10 e 10-20 cm para SSP-L). Também pode-se ressaltar o fato de que, em condições de compactação como previamente à implantação das árvores no sistema, o efeito do pisoteio por animais pode causar aumento da Ds e da Mi, esta última em função da transformação de parte dos macroporos em microporos, efeito relatado em trabalhos como de Suzuki et al. (2012) e de Szymczak et al. (2014) em solos argilosos.

Conclusões

A maior densidade do solo ocorre na pastagem pura, entretanto sem atingir valores impeditivos ao crescimento radicular.

A macroporosidade e microporosidade do solo sofreram variações com a profundidade, sendo que a macroporosidade se destaca na linha de árvores, em função do preparo do solo na fase de implantação. No entanto, a porosidade total do solo não apresentou diferenças entre as áreas estudadas.

O sistema silvipastoril em linha se destaca com um solo fisicamente melhor, por apresentar menor densidade e maior macroporosidade nos primeiros 20 cm de solo, favorecendo o desenvolvimento das raízes.

Agradecimentos

Os autores expressam seu agradecimento ao Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica do Paraná, Campus Dois Vizinhos pelo apoio logístico/institucional ao trabalho e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- Alvares, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Arboles de Misiones: *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. **Yvyrareta**: Revista Forestal País de Arboles, v. 3, n. 3, p. 25-27, 1992.
- Assis, P. C. R. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>.
- Bertolini, I. C. et al. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). *Revista Scientia Agraria Paranaensis*, v. 4, n. 2, p. 67-76, 2015. <http://dx.doi.org/10.1818/sap.v14i2.9842>.
- Blainski, E. et al. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300007>.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.
- Carneiro, M. A. C. et al. Atributos químicos, físicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>.
- Carvalho, P. E. R. **Canafístula**. Colombo: Embrapa Florestas. 2002. 15 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 64).
- Claessen, M. E. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.
- Dias, P. F. et al. Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim *Survenola* crescido em consórcio. *Ciência Rural*, v. 37, n. 2, p. 352-356, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000200009>.
- Gomes, M. F. V. B. **Cartografias da paisagem**: trajetória socioambiental de Guarapuava. Guarapuava: UNICENTRO, 2012. 343 p.
- Hauresko, C. **Lugares e tradições**: as comunidades faxinalenses de Anta Gorda e Taquari dos Ribeiros. Guarapuava: UNICENTRO, 2012. 280 p.
- Lanzanova, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>.
- Lopez, J. A. et al. **Arboles comunes del Paraguay**: ñande yvyra mata kuera. Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425 p.
- Martins, C. C. & Nakagawa, J. Germinação de sementes de *Styphnodendron adstringens* (Mart.) Coville de diferentes origens submetidas a tratamentos para superação de dormência. *Revista Árvore*, v. 32, n. 6, p. 1059-1067, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000600011>.
- Mazurana, M. et al. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000400013>.
- Melotto, A. et al. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil central indicadas para sistemas silvipastoris. *Revista Árvore*, v. 33, n. 3, p. 425-432, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000300004>.
- Mezzalira, C. C. **Biomassa vegetal, atributos físicos do solo e microclima em sistemas silvipastoril com louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud) e (*Panicum maximum*) cv. Aruana**. 2018. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos.
- Miotti, A. A. et al. Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 2, p. 536-545, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452013000200024>.
- Nicodemo, M. L. F. et al. Desenvolvimento inicial de espécies florestais em sistema silvipastoril na região Sudoeste. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 89-92, 2009. <http://dx.doi.org/10.4336/2009.pfb.60.89>.
- Porfírio-Da-Silva, V. & Moraes, A. D. Sistemas silvi-pastoris: fundamentos para a implementação. In: Pires, A. V. **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: FEALQ, 2010. v. 2. p. 1421-1455.
- Reinert, D. J. & Reichert, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. *Ciência Rural*, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000600044>.
- Sahr, C. L. L. Os “mundos faxinalenses” da floresta com araucária do Paraná: racionalidades duais em comunidades tradicionais. **Terra Plural**, v. 2, n. 2, p. 213-226, 2008.
- Santos, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- Silva, F. A. S. et al. The assistat software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>.
- Siminski, A. et al. *Peltophorum dubium*, Canafístula. In: Coradin, L. et al. (Ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2011. p. 507-511.

- Stefanoski, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>.
- Stolf, R. et al. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 447-459, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200014>.
- Suzuki, L. E. A. S. et al. Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 833-843, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/198050987564>.
- Szymczak, D. A. et al. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região Sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 641-648, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000400007>.
- Tormena, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>.
- Tormena, A. C. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100010>.
- Van Ouwerkerk, C. & Boone, F. R. Soil-physical aspects of zero tillage experiments. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 18, n. 1, p. 247-261, 1970.
- Varella, A. C. et al. Screening native and cultivated pasture for silvopastoral systems in Southern Brazil. In: CONGRESSO NACIONAL SISTEMAS SILVOPASTORILES, 1., 2009, Posadas. **Anais...** Posadas: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 2009. p. 363-367.
- Viana, E. T. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600025>.